



5/4 Priority
Doc.
E. Willis
12-13-01



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 14 348.2

Anmeldetag: 24. März 2000

Anmelder/Inhaber: Helmut Fischer GmbH & Co Institut für Elektronik und
Meßtechnik, Sindelfingen/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur zerstörungsfreien
Messung der Dicke dünner Schichten

IPC: G 01 B 7/06

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Januar 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Waasmaier

Patentanwälte
Kinkel, Mammel und Maser

Weimarer Str. 32/34
D - 71065 Sindelfingen
Tel.: +49(0)7031/9535-5
Fax: +49(0)7031/9535-95

Dipl.-Ing. Ulrich Kinkel
Dipl.-Chem. Dr. Ulrike Mammel
Dipl.-Ing. Jochen Maser
European Patent Attorneys

Datum: 24. März 2000

Mein Zeichen: 13 379

Anmelder: Helmut Fischer GmbH & Co., Institut für Elektronik und Meßtechnik
Industriestr. 21, 71069 Sindelfingen

Verfahren und Vorrichtung zur zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten mit einer Sonde gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie einer Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

Gekrümmte und beschichtete Oberflächen sind vor allem im Flugzeugbau, bei Automobilen, bei Formteilen, im Bereich von Haushaltsgegenständen, im Rohrleitungsbau, auf Jalousetten und bei vielen anderen beschichteten Meßgegenständen anzutreffen. Auch im Kernkraftbereich sind auf Zirkon-Wärmeaustauschrohren Oxidschichten im Bereich von 20 µm auf Rohren von ca. 12 mm Durchmesser zu messen.

Bekannte taktile Meßverfahren, welche z. B. auf dem Wirbelstromprinzip beruhen, werden sehr stark von der Form des Meßgegenstandes beeinflusst. Aus diesem Grunde muß eine Kalibrierung bei unterschiedlichen Krümmungen erfolgen, welche zeitaufwendig ist und zu Fehlern führen kann, insbesondere deshalb, weil Krümmungsänderungen nicht berücksichtigt werden.

Aus der DE 41 19 903 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung dünner Schichten bekannt geworden, welches ermöglicht, daß die unerwünschte

Abhängigkeit des Meßwertes von der geometrischen Form des Meßgegenstandes in einem weiten Bereich eliminiert werden kann. Dies bedeutet, daß es ermöglicht ist, dünne Schichten auch auf gekrümmten Oberflächen von Meßgegenständen zu messen. Hierbei handelt es sich um Schichtdicken von wenigen μm bis einigen 100 μm . Bei dieser zerstörungsfreien Schichtdickenmessung wird auf das Wirbelstromverfahren zurückgegriffen, welches auf Änderungen eines nieder- beziehungsweise hochfrequenten elektromagnetischen Feldes in Abhängigkeit einer auf den Meßgegenstand aufgetragenen Schicht beruht. Dabei ist eine Vorrichtung vorgesehen, welche auf einem Ferritkern eine erste Spulenvorrichtung aufweist. Eine Außenhülse, welche die erste Spulenvorrichtung umgibt, nimmt eine außerhalb liegende zweite Spulenvorrichtung auf. Der die erste Spulenvorrichtung aufnehmende Kern weist an seinem unteren Ende eine Aufsetzkalotte aus abriebfestem Material auf.

Zur Ermittlung der Schicht wird die Sonde auf dem Meßgegenstand aufgesetzt. Die beiden Spulenvorrichtungen werden mit gleichzeitig unterschiedlichen Frequenzen erregt und geben somit während der Messung zwei Signale unterschiedlicher Frequenzen ab, welche mit einer geeigneten Schaltung ausgewertet werden, um die Schichtdicke zu errechnen. Die Schichtdicke wird gemäß den in der DE 41 19 903 A1 angegebenen Gleichungen ermittelt.

Der Erfindung liegt nunmehr die Aufgabe zugrunde, die Qualität der ermittelten Werte der Schichtdicke bei der zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Durch die sequentielle Erregung von zumindest zwei Spulenvorrichtungen kann eine störungsfreie Abgabe der Meßsignale von den Spulenvorrichtungen zu einer Auswerteeinheit erfolgen. Durch das aufeinanderfolgende Erregen der Spulenvorrichtungen mit der jeweiligen Frequenz kann von der Auswerteeinheit ein von der jeweils benachbart angeordneten weiteren Spulenvorrichtung unbeeinflusstes Signal während der Messung erfaßt und auch eindeutig jeder Spulenvorrichtung zugeordnet werden. Dadurch kann eine Überschwingung oder Miterregung der benachbarten Spulenvorrichtung eliminiert werden, wodurch die Signalabgabe frei von Störparametern erfolgen kann.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß die Spulen mit Hochfrequenz erregt werden. Dadurch können Änderungen des elektromagnetischen Wechselfeldes bei Annäherung eines Sondenkopfes an einen Meßgegenstand als Meßeffect zur Messung ausgenützt werden. Bei der Anwendung von hochfrequenten Feldern sind die zu messenden Schichten elektrisch nicht leitend, wie beispielsweise Farbe, oder schwach leitend, wie beispielsweise Chrom oder dergleichen.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß die von der ersten und zumindest zweiten Spulenvorrichtung kommenden Frequenzsignale, die zeitlich getrennt voneinander abgegeben werden, durch Feldeffekttransistoren in der Zeitdauer der Abgabe der Signale begrenzt werden. Dadurch kann eine Trennung zwischen dem abgegebenen Frequenzsignal der ersten und der zumindest zweiten Spulenvorrichtung sichergestellt sein, wodurch eine genaue Erfassung und Zuordnung der Meßsignale erzielt werden kann. Dadurch kann auch während der Übertragung der Signale zur Auswerteeinheit eine gegenseitige Beeinflussung oder Überlagerung verhindert sein. Die Ansteuerung der Spulenvorrichtungen und der Feldeffekttransistoren, über welche die Meßsignale an eine Auswerteeinheit weitergeleitet werden, kann in einem definierten Zeitfenster erfolgen, wodurch auch das Zuordnen der Meßsignale ermöglicht ist.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß die durch die Spulenvorrichtung abgegebenen Signale unabhängig voneinander ausgewertet werden. Beispielsweise kann von einer ersten Spulenvorrichtung ein im wesentlichen die Schichtdicke bestimmendes Signal erfaßt werden, wobei beispielsweise durch die weitere Spulenvorrichtung ein die Krümmung der Meßoberfläche bestimmendes Signal erfaßt werden kann. Durch die getrennte Auswertung kann eine exakte Berechnung der beiden Meßgrößen gegeben sein, wodurch die anschließende Ermittlung des Meßwertes durch die Formeln – wie aus der DE 41 19 903 A1 hervorgeht – mit einer höheren Genauigkeit erfolgen kann.

Durch die Trennung der Signale der Spulenvorrichtungen kann vorteilhafterweise die Erregung der Spulenvorrichtungen mit gleicher Frequenz erfolgen, wodurch eine weitere Vereinfachung des Aufbaus der Steuerung erzielt werden kann.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß durch eine Flip-Flop-Schaltung nacheinander eine erste Spulenvorrichtung mit einem ersten Schaltkreis und eine zweite Spulenvorrichtung in einem zweiten Schaltkreis zur Durchführung einer Messung angeregt wird. Durch die vorteilhafterweise vorgesehenen Feldeffekttransistoren kann schaltungstechnisch sichergestellt sein, daß eine sequentielle Ansteuerung der Spulenvorrichtung zur Abgabe von Frequenzsignalen ermöglicht ist. Vorteilhafterweise ist vorgesehen, daß die Schaltkreise der Spulenvorrichtungen identisch ausgebildet sind. Dadurch kann der Aufbau der Schaltung einfach gestaltet sein.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, daß die Frequenzsignale über einen Kompensator zur Auswerteeinheit geführt werden. Dadurch ist ermöglicht, daß sich die Phasenlage der Frequenzsignale so einstellen lassen, daß die unerwünschte Abhängigkeit der Meßsignale von der elektrischen Leitfähigkeit des Grundwerkstoffes weitgehend eliminiert wird.

Somit kann durch das erfindungsgemäße Verfahren zur zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten erzielt werden, daß die Meßwerte zumindest von den Störparametern wie die Krümmung der Oberflächen und die Leitfähigkeit des Meßgegenstandes, die sich besonders kritisch bei der Messung dünner Schichten im Bereich weniger μm auswirken, nahezu vollständig eliminiert werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung, die insbesondere zur Durchführung des Verfahrens vorgesehen ist, weist in einem Gehäuse einen ferritischen Topfkern auf, der eine erste Spulenvorrichtung aufnimmt und an einem der ersten Spulenvorrichtung liegenden Zapfen eine Aufsetzkalotte aufweist und außerhalb des Topfkernes konzentrisch zur ersten Spulenvorrichtung eine weitere Spulenvorrichtung aufnimmt. Durch die fest zueinander angeordneten Spulenvorrichtungen, die vorteilhafterweise eine gemeinsame Mittelachse aufweisen, kann eine exakte Ermittlung gegeben sein, da aufgrund des gemeinsamen Aufsitzpunktes der Aufsetzkalotte der Wirkungsbereich der ersten und zweiten Spulenvorrichtung von der gemeinsamen geometrischen Achse ausgeht. Die erste oder innere Spulenvorrichtung ist dabei schichtdickensensitiv und die äußere beziehungsweise zweite Spulenvorrichtung ist dabei krümmungssensitiv ausgebildet.

Weitere vorteilhafte Ausbildungen sind in den weiteren Ansprüchen angegeben.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Meßsonde sowie einer Schaltung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

- Figur 1 eine perspektivische Ansicht einer Meßsonde,
- Figur 2 ein schematischer Querschnitt eines Sondenkopfes der Meßsonde,
- Figur 3 eine Ansicht von unten auf den Meßkopf gemäß Figur 2,
- Figur 4 eine schematische Darstellung von ineinandersetzbaren Komponenten der Meßsonde,
- Figur 5 eine schematische Darstellung der Meßsonde bei der Messung an einer gekrümmten Oberfläche,
- Figur 6 eine schematische Darstellung der Schaltung zur Durchführung des Meßverfahrens und
- Figur 7 ein Kennliniendiagramm, welches ein Vergleich von Meßwerten zeigt, die gemäß dem Stand der Technik und gemäß der Erfindung erfaßt sind.

In Figur 1 ist eine als Meßsonde 11 ausgebildete Vorrichtung perspektivisch dargestellt. Die Meßsonde 11 ist über ein Kabel 12 und einen Anschlußstecker 13 an einer nicht näher dargestellten Auswerteeinheit anschließbar. Die Meßsonde 11 weist einen Sondenkopf 14 auf, der von einer Hülse 16 umgeben ist. Der Sondenkopf 14 ist axial bewegbar zur Führungshülse 17 angeordnet. Dies wird nachfolgend in Figur 4 näher beschrieben.

In Figur 2 ist stark vergrößert ein schematischer Querschnitt des Sondenkopfes 14 dargestellt. In Figur 3 ist eine entsprechende Ansicht von unten dargestellt. Der Sondenkopf 14 weist ein Gehäuse 18 auf, in welchem ein Meßsystem in einer vorzugsweise nicht magnetischen Masse 19 eingebettet ist. Das Meßsystem besteht aus einem Topfkern 21, der in einer geometrischen Achse 22 einen Mittelzapfen 23 aufweist. Konzentrisch zu dem Mittelzapfen 23 ist eine erste oder innere Spulenvorrichtung 24 vorgesehen. Stirnseitig zum Topfkern 21 ist beispielsweise eine Isolierscheibe 26 vorgesehen. Der Topfkern 21 weist an der Stirnseite des

Mittelzapfens 23 eine Aufsetzkalotte 27 auf, welche aus abriebfestem Material, wie beispielsweise einem Rubin, und zumeist aus nicht magnetischem Werkstoff ausgebildet ist. Die Aufsetzfläche der Aufsetzkalotte 27 ist gekrümmt ausgebildet, wobei deren tiefster Punkt in der geometrischen Achse 22 liegt. Der Topfkern 21 weist vorzugsweise diametral einander gegenüberliegende Schlitz 28 auf, durch welche Anschlußleitungen der inneren Spulenvorrichtung 24 in einen hinteren Bereich des Sondenkopfes 14 geführt werden, die wiederum mit einer elektronischen Schaltung 50 verbunden sind. Auf einem Außenmantel 29 des Topfkernes 21 ist eine zweite oder äußere Spulenvorrichtung 31 angeordnet. Die Spulenvorrichtungen 24, 31 sind auf dem Topfkern 21 unverrückbar, beispielsweise fest eingegossen, so daß der Sondenkopf 14 als eine feste Einheit ausgebildet ist. Vorteilhafterweise sind die zu einem Meßgegenstand weisenden Stirnseiten der Spulenvorrichtungen 24, 31 auf einer gemeinsamen Ebene angeordnet. Ebenso liegt die Stirnfläche des Gehäuses 18 vorteilhafterweise in dieser Ebene. Die Meßsonde 11 hat beispielsweise als Dimension einen typischen Durchmesser eines Füllfederhalters, in welchem das eigentliche Meßsystem mit etwa 2 mm Durchmesser beweglich eingebaut ist.

Die interessierenden Schichtdicken liegen schwerpunktmäßig im Bereich von einigen μm um bis zu 100 μm . Es können aber auch dickere Beschichtungen, die in den mm Bereich reichen, erfaßt werden.

In Figur 4 ist in einer Art Explosionsdarstellung ein Aufbau der Meßsonde 11 dargestellt. Der Sondenkopf 14 weist einen ersten zylindrischen Abschnitt 33 auf, der in einen zweiten, im Durchmesser kleineren Abschnitt 34 übergeht. Der zylindrische Abschnitt 34 weist vorteilhafterweise ein Gewinde auf, so daß eine leichte Einbaumöglichkeit zur Zwischenhülse 36 gegeben ist. An diesem ist eine Leiterplatte befestigt, auf welcher die in Figur 6 dargestellte erfindungsgemäße Schaltung 50 vorgesehen ist. Diese Baueinheit wird von einer Zwischenhülse 36 aufgenommen, welche ihrerseits von einer Führungshülse 17 federnd nachgiebig durch eine vorzugsweise Spiralfeder 37 aufgenommen wird. Die Führungshülse 17 weist einen Aufnahmeabschnitt 38 auf, an dem die Hülse 16 aufsteckbar ist. Durch die federnde Lagerung der Zwischenhülse 36 in der Führungshülse 17 kann während einer Messung der Sondenkopf 14, welcher in einer Ausgangsposition gegenüber

der Stirnseite der Hülse 16 herausragt, in die Hülse bewegt werden. Dies dient ferner dazu, daß die Aufsetzkalotte 27 in Verlängerung der geometrischen Achse 22 aufsitzt, wie nachfolgend in Figur 5 beschrieben wird.

Die Zwischenhülse 36 ist axial bewegbar in der Führungshülse 17 geführt. Des weiteren ist eine Verdrehsicherung vorgesehen, wie beispielsweise eine Nut- und Federverbindung oder ein an der Zwischenhülse 36 angeordnetes und eingespanntes Federelement 37, welches in einer Nut der Führungshülse 17 läuft. Über ein Zwischenstück 39 werden die Anschlußleitungen zur Führungshülse 17 fixiert. Gleichzeitig kann dies eine Zugentlastung bilden.

Die zwischen der Zwischenhülse 36 und der Führungshülse 17 angeordnete Feder 37 ist zumindest geringfügig vorgespannt, so daß während der Messung der gekrümmten Oberfläche der Sondenkopf 14 mit einer zumindest geringfügigen Anpreßkraft auf der Oberfläche beziehungsweise der zu messenden Schicht anliegt. Diese ist jedoch im Verhältnis zur Härte der Schicht gering, so daß keine Eindruckstellen oder Beschädigungen nach der Messung der Schichtdicke vorliegen.

Beispielsweise ist die Messung einer Schichtdicke an einer gekrümmten Oberfläche in Figur 5 dargestellt. Die Hülse 16 weist an ihrem stirnseitigen Ende eine vorzugsweise prismatische Ausnehmung 41 auf, durch welche erzielt werden kann, daß beim Aufsetzen der Meßsonde 11 auf die gekrümmte Oberfläche eine gesicherte und definierte Anlage der Meßsonde 11 zur Oberfläche geschaffen werden kann. Die Größe und Art der Ausnehmung 41 kann an verschiedene Meßgegenstände angepaßt werden. Dadurch kann auch die Meßsonde 11 auf der zylindrischen oder gekrümmten Oberfläche zentriert werden, wodurch eine kontrollierte Messung durchgeführt werden kann. Der Sondenkopf 14 wird dabei gegenüber seiner Ausgangsposition, wie beispielsweise in Figur 1 dargestellt, entlang der geometrischen Achse 22 in die Hülse 16 eingetaucht. Durch die Spiralfeder 37 wird die Aufsetzkalotte 27 zumindest unter einem geringen Druck auf der Oberfläche 42 des Meßgegenstandes gehalten. Unmittelbar nach Aufsetzen der Meßsonde 11 auf dem Meßgegenstand kann die Messung der Dicke dünner Schichten durchgeführt werden.

Eine derartige Messung wird nachfolgend anhand der Schaltung 50 gemäß Figur 6 beschrieben.

Die Schaltung 50 umfaßt zwei nahezu identische Schwingkreise 51 und 52. Die Wirkungsweise wird beispielhaft am Schaltkreis 51, welcher der Innenwicklung bzw. der Spulenvorrichtung 24 zugeordnet ist, beschrieben. Der Serienschwingkreis, bestehend aus einem Kondensator 53 dieser Spulenvorrichtung 24, bildet in Verbindung mit einem Dualgate-Feldeffekttransistor 54 einen aktiven Serienresonanzkreis. Dies ist möglich, weil im Falle der Serienresonanz an der Spulenvorrichtung 24 eine deutliche Spannungsüberhöhung auftritt gegenüber der Hochfrequenzspannung, die an einem Widerstand 56 entsteht. Die Resonanzbedingung wird dadurch erfüllt. Die Spulenvorrichtung 24 liegt einseitig auf einem Massepotential. Die an der Spulenvorrichtung 24 entstehende Spannung wird über einen Widerstand 57 und einen regelbaren Widerstand 58 dem Gate 2 des Transistors 54 zugeführt. Mit dem regelbaren Widerstand 58 kann in Verbindung mit dem Kondensator eine Phasendrehung dergestalt vorgenommen werden, daß die unerwünschte Abhängigkeit des Meßwertes von der Leitfähigkeit des Grundwerkstoffes fast vollständig unterdrückt wird. Ein Kondensator 59 bestimmt die Rückkopplung und wird so gewählt, daß eine quasi sinusförmige Spannung mit sehr geringem Oberwellenanteil an dem Widerstand 56 entsteht. Dadurch wird eine weitgehende Unterdrückung einer Störstrahlung möglich. Wird das Gate 1 des Transistors 54 auf low geschaltet, ist die Resonanzbedingung nicht mehr erfüllt und die Oszillation klingt sehr schnell ab. Nähert man den Sondenkopf 14 an einen metallischen Grundwerkstoff an, dann werden in diesem Wirbelströme erzeugt, welche den Schwingkreis 51 verstimmen. Die Annäherung der Spulenvorrichtung 24 entspricht dem Meßeffect der Schichtdicke. Der Meßeffect ist mit der Schichtdicke durch eine nichtlineare Funktion verknüpft. In der Regel ist die Schicht elektrisch isolierend, so daß nur im Grundwerkstoff Wirbelströme erzeugt werden. Eine Messung ist aber mit dieser Schaltung 50 erfindungsgemäß auch dann möglich, wenn eine schlecht leitende, nicht magnetische Schicht, z.B. Chrom auf nicht magnetischem Grundwerkstoff, z.B. Aluminium, welches eine deutlich besser Leitfähigkeit besitzt, galvanisch niedergeschlagen wird.

Der Schaltkreis 52 arbeitet analog dem Schaltkreis 51. Die Spulenvorrichtung 31, die vorzugsweise mit gleicher Frequenz wie die Spulenvorrichtung 24 erregt wird, reagiert jedoch im wesentlichen nur auf Krümmung, wobei die krümmungsbedingte Frequenzänderung zur Kompensation des Krümmungseinflusses gemäß DE 41 19 903 A1 dient. Die Erregungsfrequenz der Spulenvorrichtungen 24, 31 liegen beispielsweise im Bereich von 5 bis 30 MHz. In einer Signaleingangsleitung 61 sind zwei Inverter 62, 63 vorgesehen, die gewährleisten, daß nur ein Transistor 54 eines Schaltkreises 51, 52 zur Schwingung freigegeben ist. Wenn der Schalterpunkt 64 auf high (1) liegt, dann wird nur der Schaltkreis 51 zur Schwingung freigegeben. Liegt der Schalterpunkt 64 auf low (0), dann wird nur der Schaltkreis 52 freigegeben. Die beiden Dualgate-Feldeffekttransistoren 54 liegen über eine Leitung 60 an einer gleichen Versorgungsspannung von beispielsweise 5 V, welche über eine kleine Induktivität 66 zugeführt wird, um diese zu aktivieren. Alternativ kann auf das Gate 1 der Feldeffekttransistoren 54 verzichtet werden und die Transistoren 54 können abwechselnd mit zwei intermittierend geschalteten Leitungen ein- bzw. ausgeschaltet werden. Diese Art der Schaltung ist über schnelle Halbleiterschalter möglich.

Die Resonanz der beiden sequentiell geschalteten Transistoren 54 bewirkt, daß über die Induktivität 66, welche einen Serienschwingkreis 65 mit einem Kondensator 67 bildet, an dem Widerstand 68 die jeweilige Resonanzfrequenz von dem Schaltkreis 51 und 52 abgegriffen werden kann. Dadurch können Signale der jeweiligen Spulenvorrichtung 24, 31 erkannt und über einen Schalterpunkt 70 durch die nachfolgende Serienschaltung 65 abgegriffen, erfaßt und ausgewertet werden. Die Hochfrequenzsignale werden der Gleichspannungsversorgungsleitung 61 überlagert. Zur Auswertung erfolgt beispielsweise 10-mal in der Sekunde ein Wechsel zwischen den Spulenvorrichtungen 24, 31, so daß zumindest 100.000 Schwingungen zur Meßwertbildung zur Verfügung stehen. Es würde auch eine geringere Anzahl genügen.

In Verbindung mit dem Schaltzustand an dem Schalterpunkt 64 ist eindeutig die Resonanz von dem Schaltkreis 51 und 52 definiert, so daß in einer nachfolgenden Schaltung die beiden Signale der Schaltkreise 51, 52, wie in DE 41 19 903 A1 beschrieben, zusammengeführt werden können. Die gezeigte Schaltung kann in

SMD-Technik aufgebaut und direkt in der Sonde 11, wie in Fig. 4 gezeigt, integriert werden.

In Figur 7 ist ein Kennliniendiagramm dargestellt, welches den prozentualen Anteil des Krümmungsfehlers in Abhängigkeit des Durchmessers der gekrümmten Oberfläche darstellt, auf der eine Messung der Schichtdicke erfolgt ist. Eine Kennlinie 81 stellt die Meßwerte dar, welche bislang mit aus dem Stand der Technik bekannten Meßsonden und Schaltungen ermittelt wurden. Daraus ist zu entnehmen, daß der prozentuale Krümmungsfehler bisher in einem erheblichen Maße, insbesondere bei sehr kleinen Durchmessern, gegeben war. Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren werden Meßwerte gemäß einer Kennlinie 82 ermittelt, deren prozentualer Krümmungsfehler um ein erhebliches Maß reduziert ist. Dadurch wird deutlich, in welchem Maße eine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik erzielt wurde. Dies ist für den Anwender von wesentlicher Bedeutung. Dadurch kann beispielsweise eine wesentliche Erhöhung der Meßgenauigkeit in der Qualitätskontrolle erzielt werden.

Patentanwälte
Kinkel, Mammel und Maser

Weimarer Str. 32/34
D - 71065 Sindelfingen
Tel.: +49(0)7031/9535-5
Fax: +49(0)7031/9535-95
Dipl.-Ing. Ulrich Kinkel
Dipl.-Chem. Dr. Ulrike Mammel
Dipl.-Ing. Jochen Maser
European Patent Attorneys

Datum: 24. März 2000

Mein Zeichen: 13 379

Anmelder: Helmut Fischer GmbH & Co., Institut für Elektronik und Meßtechnik
Industriestr. 21, 71069 Sindelfingen

Ansprüche

1. Verfahren zur zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten mit einer Sonde (11), welche eine erste Spulenvorrichtung (14) auf einem Innenkern aufweist, deren geometrische Mitte (22) und die geometrische Mitte zumindest einer zweiten Spulenvorrichtung (31) sich decken, wobei die zumindest zweite Spulenvorrichtung (31) die erste Spulenvorrichtung (24) teilweise umgibt, mit einer Auswerteeinheit, an welche Signale der Spulenvorrichtungen (24, 31) während einer Messung zur Ermittlung der Schichtdicke abgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schaltung 50 vorgesehen ist, durch welche die erste und die zumindest zweite Spulenvorrichtung (24, 31) sequentiell während einer Messung erregt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenvorrichtungen (24, 31) mit Hochfrequenz erregt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die von der ersten und zumindest zweiten Spulenvorrichtung (24, 31) kommenden Frequenzsignale, welche zeitlich getrennt voneinander abgegeben werden, durch die Periode zur Abgabe der Frequenzsignale jeder Spulenvorrichtung (24, 31) mittels Transistoren (54), welche vorzugsweise von der Schaltung (50), in

Analogie zu den Spulenvorrichtungen (24,31) angesteuert werden, begrenzt wird.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Spulenvorrichtungen (24, 31) abgegebenen Signale durch einen Serienschwingkreis (65) eindeutig der jeweiligen Spulenvorrichtung (24, 31) zugeordnet und unabhängig voneinander ausgewertet wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenvorrichtungen (24,31) mit gleicher Frequenz erregt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Spulenvorrichtung (24) mit einer Frequenz zwischen 8 und 20 MHz erregt, und daß die weitere Spulenvorrichtung (31) mit einer Frequenz zwischen 4 und 12 MHz erregt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Wechsel von wenigstens zweimal pro Sekunde die Schwingungen der Spulenvorrichtungen (24, 31) des sich während der Messung ändernden Meßfeldes abgefragt werden.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Spulenvorrichtung (24) einen Schaltkreis (51) aufweist und die zweite Spulenvorrichtung (31) einen Schaltkreis (52) aufweist, die parallel zueinander geschaltet sind und eine Flip-Flopschaltung (62, 63) vorgesehen ist, durch welche zeitabhängig vorteilhafterweise der jeweils den Spulenvorrichtungen (24, 31) zugeordnete Transistor (54) geschaltet wird.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das von der Spulenvorrichtung (24, 31) gegebene Frequenzsignal über einen Kompensator (58) zur Auswerteeinheit geführt wird.
10. Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Gehäuse (18), mit einer ersten Spulenvorrichtung (24) und einer zweiten Spulenvorrichtung (31) und mit einer Aufsetzkalotte (27) dadurch gekennzeichnet, daß ein Sondenkopf (14) mit einem ferritischen Topfkern (21) vorgesehen ist, welcher die erste Spulenvorrichtung (24) nahe einer gemeinsamen geometrischen Achse (22) aufnimmt,

und daß der Topfkern (21) in der gemeinsamen Achse (22) einen Zapfen (23) aufweist, der innerhalb der ersten Spulenvorrichtung (24) liegt und an dessen Stirnseite die Aufsetzkalotte (27) vorgesehen ist, die zumindest teilweise gegenüber der Stirnseite der Spulenvorrichtung (14) hervorspringt und daß außerhalb des Topfkerns (21) konzentrisch eine zweite Spulenvorrichtung (31) vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Wicklungen der ersten Spulenvorrichtung (24) gleich oder geringer als die der zweiten Spulenvorrichtung (31) ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und zweite Spulenvorrichtung (24, 31) fest zueinander angeordnet, vorzugsweise in einer Gußmasse eingebettet sind.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und zweite Spulenvorrichtung (24, 31) zur Stirnseite des Sondenkopfes (14) in einer Ebene angeordnet sind.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Topfkern (21) wenigstens einen seitlichen Schlitz (28) zur Durchführung von Anschlußleitungen aufweist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Sondenkopf (14) axial verschiebbar in einer Führungshülse (17) und gegenüber einer fest zu der Führungshülse (17) angeordneten Schutzhülse (16) eintauchbar gelagert ist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Schutzhülse (16) an einer zum Sondenkopf (14) weisenden Stirnseite eine Ausnehmung (41), die vorzugsweise primatisch ausgebildet ist, aufweist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Sondenkopf (14) entgegen einer Federkraft in die Schutzhülse (16) eintauchbar ist, und daß ein Federelement (37) unter zumindest geringer Vorspannung zur Führungshülse (17) angeordnet ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Spulenvorrichtung (24) schichtdickensensitiv und die zumindest weitere Spulenvorrichtung (31) krümmungssensitiv ausgebildet ist.
19. Schaltung zur getrennten Auswertung von zwei Meßsignalen, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstimmung jeweils einer Induktivität (24, 31) in einer Frequenzänderung resultiert, wobei eine Induktivität (24) in erster Linie von der Schichtdicke und die andere Induktivität (31) in erster Linie von der Krümmung des Meßgegenstandes beeinflußt wird.
20. Schaltung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß beide Induktivitäten (24, 31) eine gemeinsame Masse aufweisen und die Frequenz an einem Schalterpunkt (70) in eindeutiger Zuordnung das entsprechende Frequenzsignal ausgekoppelbar ist.

1 / 5

Fig. 1

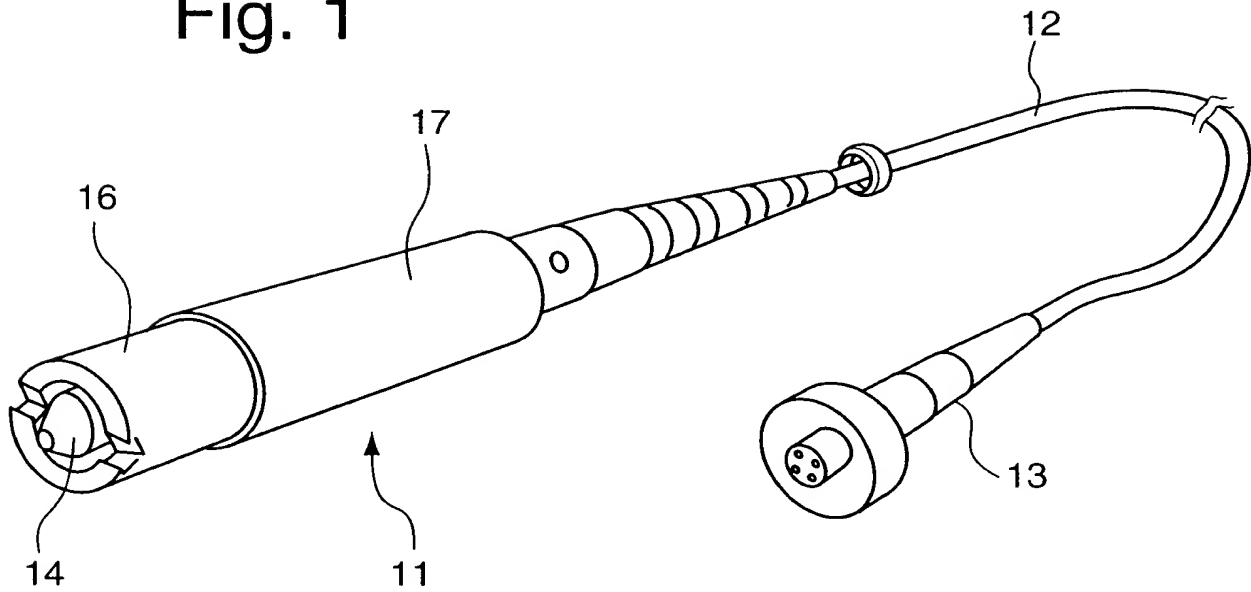
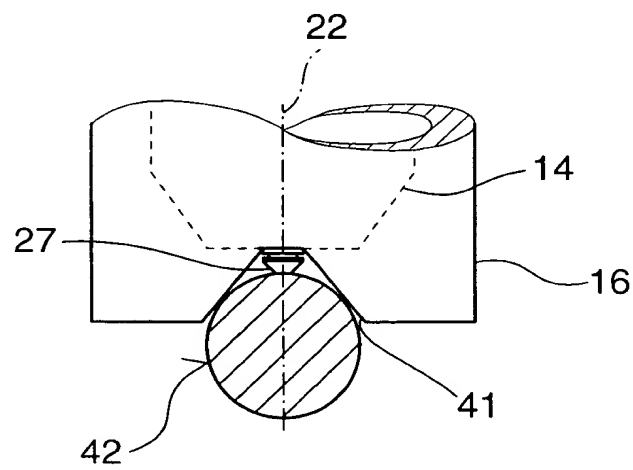


Fig. 5



2 / 5

Fig. 2

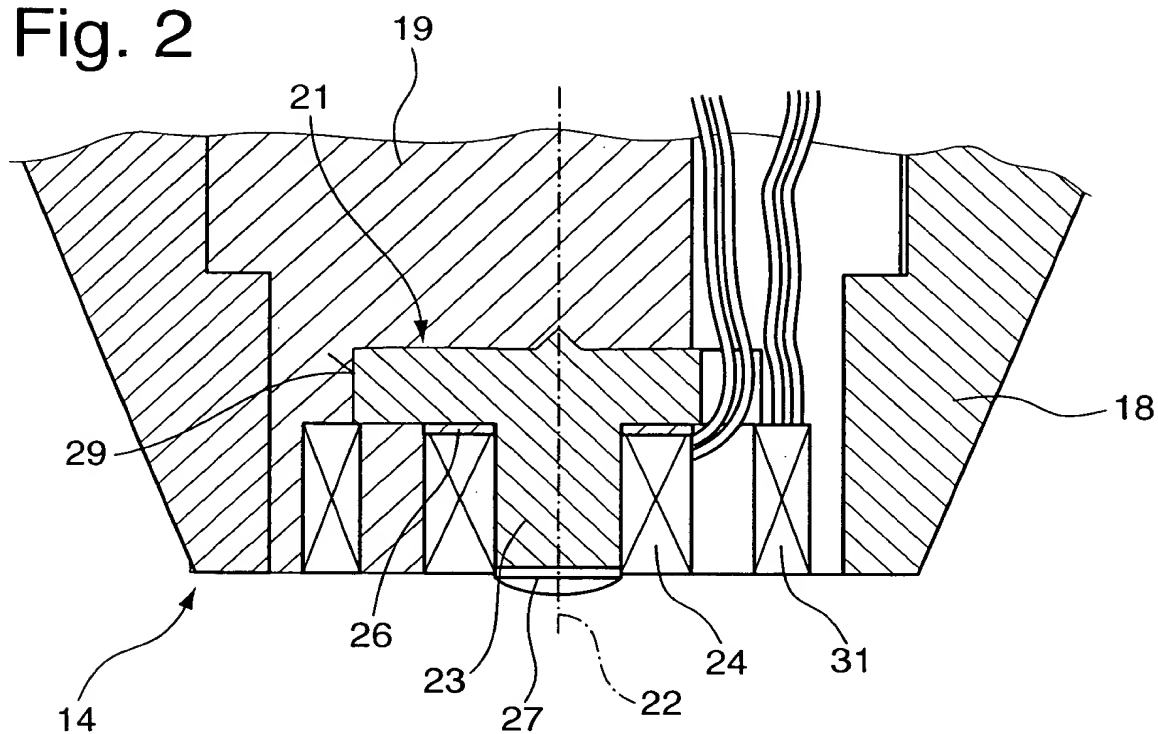


Fig. 3

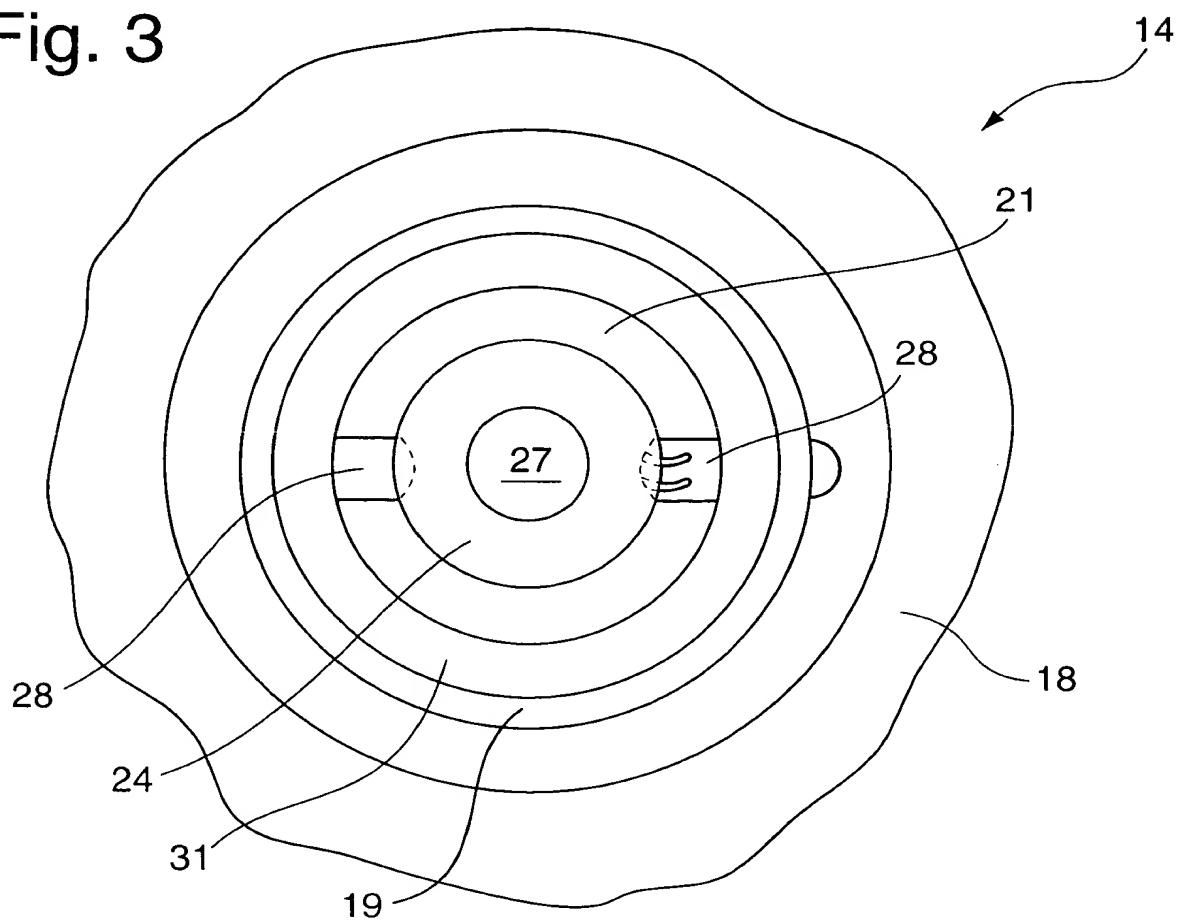


Fig. 4

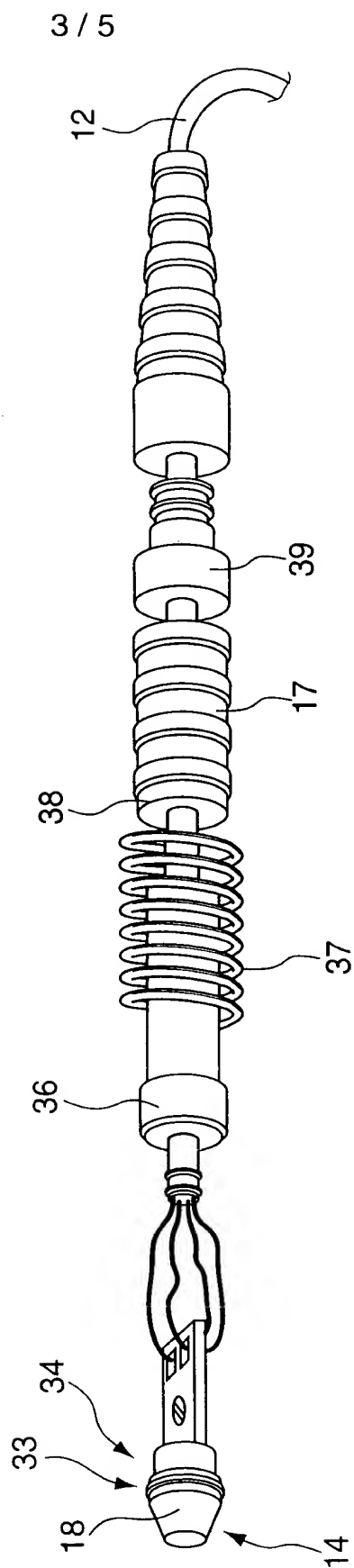
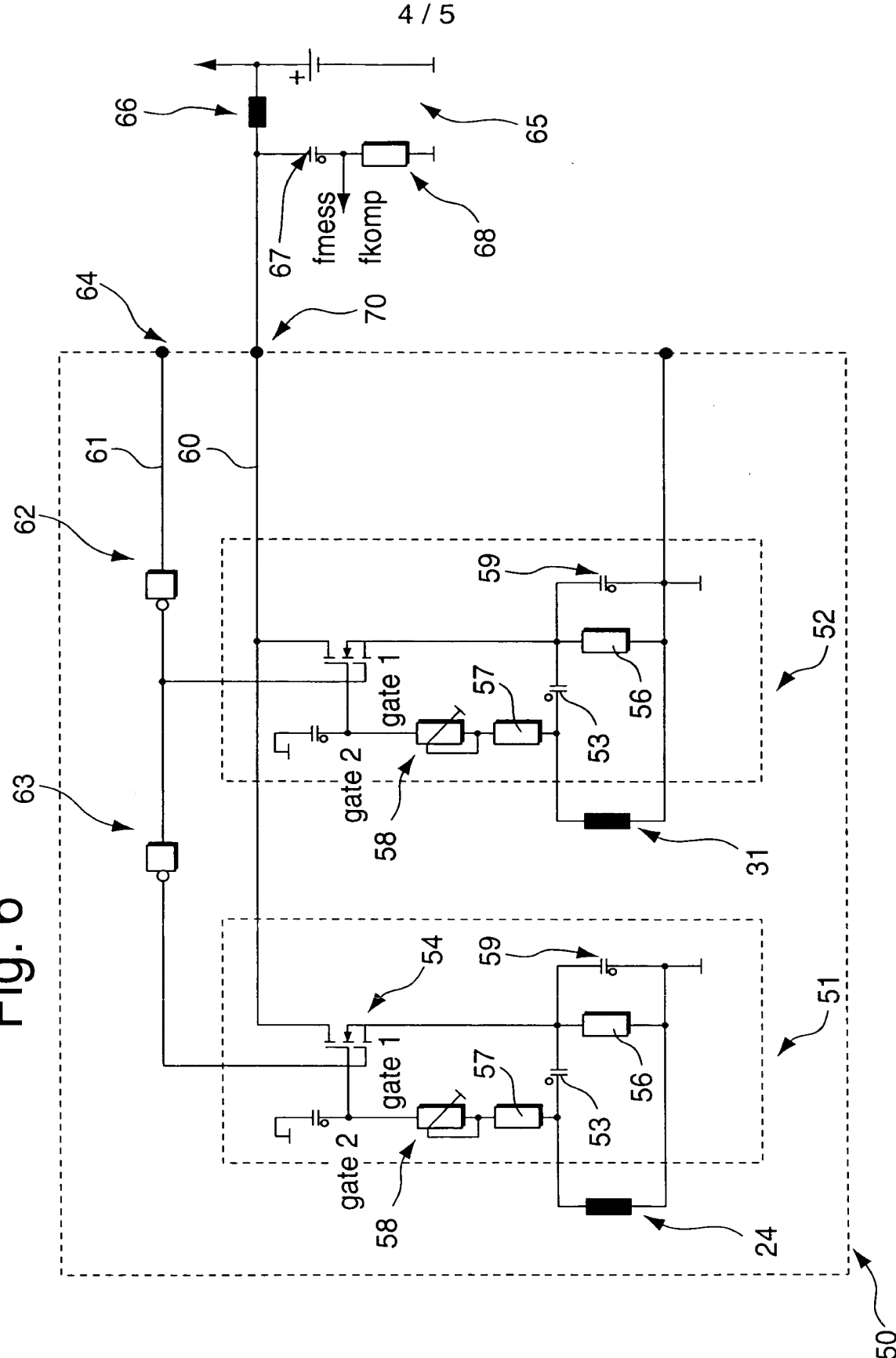
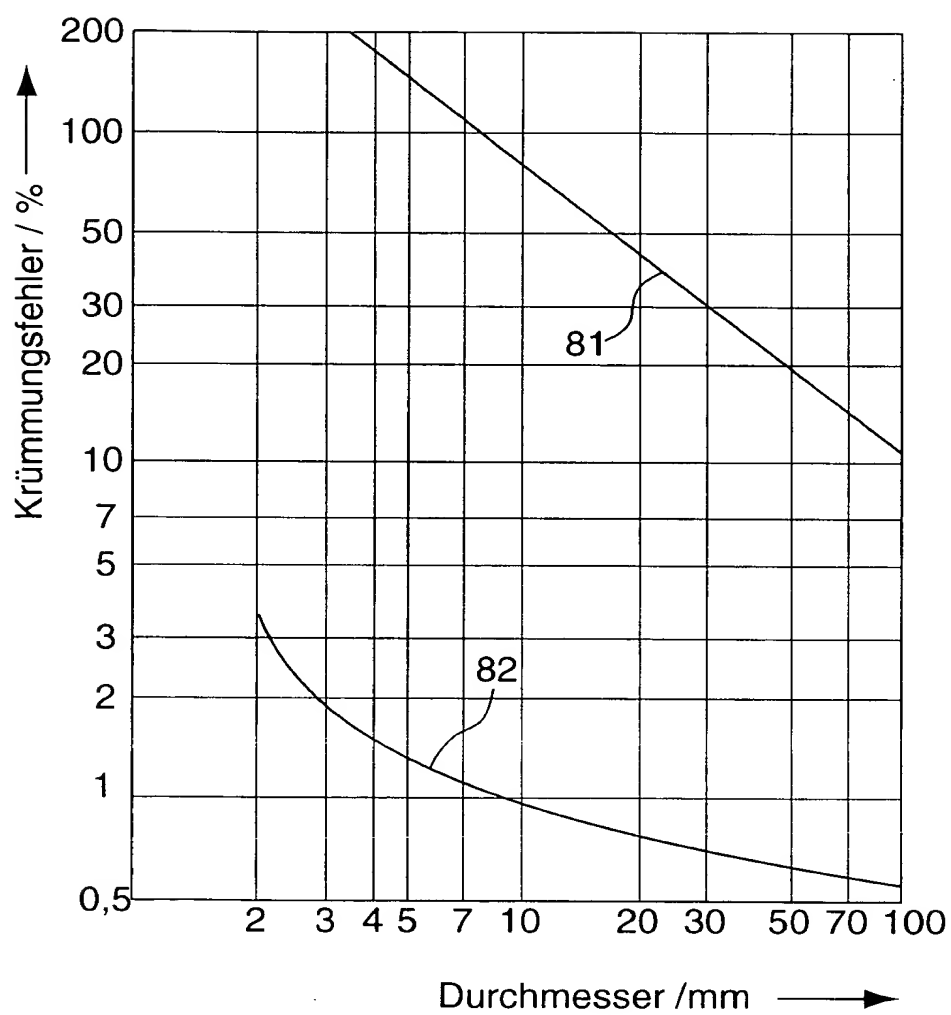


Fig. 6



5 / 5

Fig. 7



Patentanwälte
Kinkel, Mammel und Maser

Weimarer Str. 32/34
D - 71065 Sindelfingen
Tel.: +49(0)7031/9535-5
Fax: +49(0)7031/9535-95

Dipl.-Ing. Ulrich Kinkel
Dipl.-Chem. Dr. Ulrike Mammel
Dipl.-Ing. Jochen Maser
European Patent Attorneys

Datum: 24. März 2000

Mein Zeichen: 13 379

Anmelder: Helmut Fischer GmbH & Co., Institut für Elektronik und Meßtechnik
Industriestr. 21, 71069 Sindelfingen

Verfahren und Vorrichtung zur zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur zerstörungsfreien Messung der Dicke dünner Schichten mit einer Sonde (11), welche eine erste Spulenvorrichtung (14) auf einem Innenkern aufweist, deren geometrische Mitte (22) und die geometrische Mitte zumindest einer zweiten Spulenvorrichtung (31) sich decken, wobei die zumindest zweite Spulenvorrichtung (31) die erste Spulenvorrichtung (24) teilweise umgibt, mit einer Auswerteeinheit, an welche Signale der Spulenvorrichtungen (24, 31) während einer Messung zur Ermittlung der Schichtdicke abgegeben werden, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schaltung 50 vorgesehen ist, durch welche die erste und die zumindest zweite Spulenvorrichtung (24, 31) sequentiell während einer Messung erregt werden. (Hierzu Fig. 1)

